



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 101 35 962 C 1

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 02 N 2/00
H 01 L 41/08
G 02 B 5/08
H 04 N 9/31

②1 Aktenzeichen: 101 35 962.4-32
②2 Anmeldetag: 24. 7. 2001
④3 Offenlegungstag: -
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 26. 6. 2003

DE 101 35 962 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:

Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241
München

⑦2 Erfinder:

Bingel, Ulrich, Dipl.-Ing., 73457 Essingen, DE;
Holeczek, Harald, Dipl.-Ing., 71296 Heimsheim, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 199 54 020 C2
DE 199 20 576 C1
DE 197 81 847 C2
DE 694 11 228 T2

⑤4 Verfahren zur Herstellung eines kontrolliert deformierbaren Funktionselementes sowie Funktionselement

⑤7 Beschrieben wird ein Verfahren zur Herstellung eines
kontrolliert deformierbaren Funktionselementes mit we-
nigstens einem mit dem Funktionselement in Wirkverbin-
dung stehenden und die kontrollierten Deformationen er-
zeugenden Aktuator mit elektrischen Kontaktanschlüs-
sen. Ferner wird ein diesbezügliches Funktionselement
mit bevorzugter Verwendung beschrieben.
Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass auf einer
freiliegenden metallischen Materialoberfläche eines me-
tallischen Substrats wenigstens ein Piezoelement aufge-
bracht wird, und dass im Rahmen eines Metall-Abschei-
deprozesses das wenigstens eine Piezoelement, abgese-
hen von den elektrischen Kontaktanschlüssen, vollstän-
dig von metallischem Material umgeben wird.

DE 101 35 962 C 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines kontrolliert deformierbaren Funktionselementes mit wenigstens einem mit dem Funktionselement in Wirkverbindung stehenden und die kontrollierten Deformationen erzeugenden Aktuator mit elektrische Kontaktschlüssen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Ferner wird ein diesbezügliches Funktionselement gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 23 mit bevorzugter Verwendung beschrieben.

Stand der Technik

[0002] Funktionselemente der vorstehend genannten Gattung sowie Verfahren zur Herstellung der Funktionselemente sind zum Beispiel aus der DE 197 81 847 C2 bekannt. Solche Funktionselemente werden in vielfacher Weise in unterschiedlichen technischen Anwendungsgebieten eingesetzt und dienen der Justierung sowie Positionierung von Gegenständen im Mikro- bzw. Submikrometerbereich. Gattungsgemäße Funktionselemente die aus Gründen thermischer, mechanischer sowie chemischer Belastbarkeit aus metallischen Material bestehen, weisen zur kontrollierten Eigenverformung einen zu deformierenden Grundkörper sowie wenigstens einen, mit dem Grundkörper verbundenen Aktuator auf. Der vorzugsweise aus einer Piezokeramik ausgebildete Aktuator wird in an sich bekannter Weise über eine Haftschrift, beispielsweise Klebschrift oder mittels Lötverbindung an den metallischen Grundkörper des Funktionselementes gefügt und vermag diesen je nach Anlegen einer elektrischen Versorgungsspannung räumlich gezielt zu deformieren.

[0003] Klassische Anwendungsgebiete derartiger Funktionselemente sind die Medizin- und Messtechnik, Optoelektronik, optische Signalverarbeitung sowie insbesondere die Optik im allgemeinen Sinne. Beispielsweise aus Metall geformte Spiegel, die in einem optischen System integriert sind, werden zur kontrollierten Deformation der Spiegeloberfläche mit einer Piezokeramik an der Spiegelrückseite in an sich bekannter Weise kombiniert. Durch gezielte elektrische Ansteuerung der Piezokeramik wird eine Längenänderung in der Keramik verursacht, die auf den Metallspiegel entsprechend übertragen wird. Optische Abbildungsfehler können durch diese Einflußnahme auf die optischen Abbildungseigenschaften des Spiegels korrigiert werden. Derartig aufgebaute adaptive Spiegel werden in der Astronomie und Lasertechnik angewendet, die einseitig über eine hochqualitative Spiegeloberfläche verfügen und auf ihrer der Spiegeloberseite abgewandten Seite mit einem Piezostelllement verbunden sind, durch das der Spiegel flächig, zu Zwecken optimierter optischer Abbildungseigenschaften, deformiert werden kann.

[0004] Nachteilhaft vorstehend genannter Systeme ist einerseits ihr komplexer Aufbau, der sich durch das Zusammenfügen der räumlich zu deformierenden metallischen Struktur und dem Aktuator ergibt. Durch die räumliche Trennung beider vorstehend genannter Elemente wird der mechanische Aufbau des gesamten Funktionselements oft sehr aufwendig und daher kostenintensiv. Zudem stellt die zwischen dem Aktuator und dem metallischen Grundkörper vorzusehene Fügeverbindung eine zusätzliche Schwachstelle dar, die zu unerwarteten Systemstörungen führen kann. Ferner ist es je nach Einsatzbedingungen erforderlich, dass die Aktuatoren gekapselt werden müssen, um sie vor aggressiven Umgebungseinflüssen, wie beispielsweise che-

misch aggressiven Medien oder Strahlung zu schützen.

[0005] Ein weiterer Nachteil betrifft die Verbindung zwischen dem Aktuator und dem Grundkörper. So sind die Aktuatoren häufig nur an diskreten Punkten bzw. Stellen mit dem Grundkörper verbunden. Eine derartige, zumeist nur punktuelle Verbindung grenzt die Möglichkeiten für räumliche Deformationen der Trägerstruktur entscheidend ein, wodurch insbesondere im Hinblick auf das Anwendungsgebiet der Optik nur beschränkte räumliche Manipulationsmöglichkeiten zur Adaption bzw. Optimierung der optischen Abbildungseigenschaften bestehen.

[0006] Aus der DE 199 20 576 C1 ist ein piezoelektrischer Biegewandler mit einem Träger aus einem mit Fasern verstärkten Duroplasten und mit einer zumindest einseitig auf dem Träger thermisch aufgeklebten Schicht aus einer Piezokeramik bekannt. Problematisch bei diesem Biegewandler ist allerdings, dass die Piezokeramik mittels eines thermischen Verfahrens aufgebracht wird und somit entsprechenden thermischen Belastungen, die zu internen Materialspannungen führen können, während der Fertigung ausgesetzt wird. Der Einsatz eines solchen piezoelektrischen Biegewandlers in optischen Elementen ist daher sehr problematisch.

[0007] Darüber hinaus beschreibt die DE 199 54 020 C2 ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Wandlers, bei dem die piezoelektrischen Fasern vollständig von einer Matrix aus Polymermasse umgeben sind. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann die Herstellung großflächiger nicht ebener Bauteile mit direkt integrierten piezoelektrischen Fasern realisiert werden. Mit diesem Verfahren können daher relativ kostengünstig Wandler mit hoher Spannungsfestigkeit erzeugt werden. Die Herstellung eines Funktionselementes, das optische Elemente zur Positionierung und Justierung enthält, ist mit diesem Verfahren allerdings nicht zu erreichen.

[0008] Die DE 197 81 847 C2 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von Spiegelarrays in einem optischen Projektionssystem. Mit einem Metall-Abscheideverfahren werden hierbei metallische Elektroden auf den Aktuator aufgebracht. Bei dem in dieser Druckschrift beschriebenen Spiegelarray sind die Aktuatoren nicht vollständig in das sie umgebende Material eingebunden, was eine gezielte und kontrollierte flächige Deformation, die möglichst großräumig erfolgen soll, erheblich erschwert.

[0009] Außerdem ist aus der DE 694 11 228 T2 ein Herstellungsverfahren bekannt, mit dem ein Spiegel mit einem Träger aus Metallmatrix-Verbundmaterial, das über ein Metall-Abscheideverfahren aufgebracht wird, erzeugt wird. Somit wird in dieser Druckschrift lediglich die Herstellung eines Spiegels, allerdings nicht die Einbringung eines Aktuators zur gezielten und kontrollierten Deformation eines optischen Elementes beschrieben.

Darstellung der Erfindung 4

[0010] Es besteht die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art zur Herstellung eines kontrolliert deformierbaren Funktionselementes mit wenigstens einem mit dem Funktionselement in Wirkverbindung stehenden und die kontrollierten Deformationen erzeugenden Aktuator, derart anzugeben, dass die vorstehend zum Stand der Technik genannten Nachteile vermieden werden sollen. Insbesondere soll es möglich sein, die vom Aktuator herrührenden Deformationen unverfälscht, d. h. unmittelbar auf das Funktionselement zu übertragen, wobei die hierfür erforderliche Verbindung zwischen dem Funktionselement und dem Aktuator keine Schwachstelle hinsichtlich äußerer physikalisch, chemischer oder thermischer Einflüsse darstellen soll. Vielmehr

soll das Funktionselement über eine verbesserte Robustheit gegenüber den vorstehend genannten Einflüssen verfügen und überdies mit geringem Aufwand und geringen Kosten herstellbar sein.

[0011] Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist durch die kennzeichnenden Merkmale im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 23 ist ein entsprechend erfindungsgemäß ausgebildetes kontrolliert deformierbares Funktionselement. Den Erfindungsgedanken weiterbildende Merkmale sind den Unteransprüchen sowie der gesamten Beschreibung, insbesondere unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines kontrolliert deformierbaren Funktionselementes mit wenigstens einem mit dem Funktionselement in Wirkverbindung stehenden und die kontrollierten Deformationen erzeugenden Aktuator mit elektrischen Kontaktanschlüssen zeichnet sich dadurch aus, dass auf einer freiliegenden metallischen Materialoberfläche eines metallischen Substrates der wenigstens eine Aktuator aufgebracht wird und dass im Rahmen eines Metall-Abscheideprozesses der wenigstens eine Aktuator abgesehen von den elektrischen Kontaktanschlüssen vollständig von metallischem Material umgeben wird. Vorzugsweise eignet sich als Aktuator ein Piezoelement, das in Form einer Faser, eines Faserbündels, einer Platte, einer Stange ausgebildet ist.

[0013] Im Rahmen eines Metall-Abscheideprozesses wird im weiteren der auf der freiliegenden metallischen Materialoberfläche des metallischen Substrates aufliegende Aktuator an wenigstens lokalen Stellen längs seiner Erstreckung vollumfänglich mit metallischem Material beschichtet, so dass der Aktuator vollständig und unmittelbar in eine metallische Matrix eingebunden wird, die sich durch die Metallablagerung auf dem metallischen Substrat und um den Aktuator herum ausbildet.

[0014] Als ein besonders bevorzugtes Metall-Abscheideverfahren eignet sich das galvanische Abscheiden von Metall aus einer Flüssigphase, bei dem der Abscheideprozess innerhalb eines galvanischen Bades durchgeführt wird, da dieser Technik der Materialabscheidung unter einer geeigneten Prozessführung zu eigen ist, dass die dabei entstehende Metallschicht keine innere mechanischen Spannungen aufweist, durch die möglicherweise das auf der Materialoberfläche zur weiteren Beschichtung aufliegende Piezoelement deformiert oder gar zerstört werden kann.

[0015] Beim Aufbringen vorzugsweise einer Vielzahl einzelner als Piezoelemente ausgebildeter Aktuatoren auf der freiliegenden metallischen Metalloberfläche des metallischen Substrates werden die einzelnen Piezoelemente mit einem geeigneten Haftvermittler, wie beispielsweise Kleber oder Harz, an der Materialoberfläche fixiert, so dass die Piezoelemente während des nachfolgenden Abscheidevorganges ihre ursprüngliche Lage unverändert beibehalten.

[0016] Das erfindungsgemäße Herstellverfahren bietet grundsätzlich zwei alternative Verfahrenswege zur Herstellung des kontrolliert deformierbaren Funktionselementes.

[0017] In einer ersten Verfahrensalternative wird ein vorgefertigtes, eine gewünschte Raumform aufweisendes, metallisches Substrat verwendet, das beispielsweise für eine spätere Verwendung als optisches Spiegelement über wenigstens eine Qualitätsoberfläche verfügt. Die Qualitätsoberfläche kann mit Hilfe geeigneter Oberflächenbearbeitungsverfahren, wie beispielsweise Schleifen, Polieren etc. hergestellt werden.

[0018] Ein derartiges flächig ausgebildetes metallisches Substrat, das typischerweise eine Substratdicke zwischen 50 und 1000 µm aufweist und in der Fläche beliebig dimensioniert sein kann, wird nachfolgend auf seiner der Qualitäts-

oberfläche gegenüberliegenden freiliegenden metallischen Materialoberfläche mit vorzugsweise einer Vielzahl einzelner, als Fasern ausgebildete Piezoelemente belegt, die zur späteren flächigen Deformation des als Spiegel ausgebildeten Funktionselementes vorzugsweise gleichverteilt auf der Materialoberfläche verteilt werden. Um im weiteren Verfahrensablauf Dejustierungen der Piezofasern untereinander zu vermeiden, werden diese mittels geeigneten Haftvermittlern wenigstens lokal auf der freiliegenden metallischen Materialoberfläche des metallischen Substrates fixiert.

[0019] Das in vorstehender Weise präparierte metallische Substrat wird nun zur Metallabscheidung in ein galvanisches Bad gesenkt, das eine Elektrolytlösung mit gelösten metallischen Kationen enthält. Zur gezielten Metallabscheidung auf dem metallischen Substrat wird dieses auf Kathodenpotential gelegt, so dass sich die in der Elektrolytlösung gelösten Metallkationen gezielt auf der freiliegenden Metalloberfläche des metallischen Substrates abscheiden können. Vorzugsweise sind in der Elektrolytlösung ebenjene Metallionen gelöst, aus denen auch das metallische Substrat besteht. Auf diese Weise schließt sich nahtlos eine metallische Schicht auf das metallische Substrat an, wobei die sich in der metallischen Schicht ausbildende Metallmatrix identisch ist mit der des Substrates. In dieser Metallmatrix werden die Piezoelemente vollständig eingebunden und gehen somit eine innige unmittelbare Verbindung mit der metallischen Schicht sowie dem metallischen Substrat ein, die zusammen das Funktionselement bilden.

[0020] Die Schichtabscheidung im Wege der galvanischen Beschichtung birgt insbesondere den Vorteil, dass die zu erzeugende Schichtdicke exakt kontrolliert werden kann und dass überdies das zu beschichtende Substrat keiner thermischen Belastung und somit keinen möglichen internen Materialspannungen ausgesetzt wird.

[0021] Der Metallabscheideprozess wird dabei solange durchgeführt, bis die gesamte freiliegende metallische Materialoberfläche des metallischen Substrates vollständig von einer zusätzlichen Metallschicht überzogen ist, die die Piezoelemente vollständig überdeckt. Aus Gründen der elektrischen Kontaktierung der einzelnen vorzugsweise als Fasern ausgebildeten Piezoelemente weisen diese typischerweise eine Länge auf, so dass sie das metallische Substrat jeweils beidseitig an ihren Rändern lateral überragen. Um einen elektrischen Kurzschluss zwischen den einzelnen Piezoelementen und dem metallischen Material zu vermeiden, sind die Piezoelemente einzeln mit einer elektrisch isolierenden Schicht überzogen, bevor sie in die Metallmatrix eingebunden werden. Typischerweise eignet sich hierzu eine Polymer- oder Keramikhülle, die die einzelnen Piezoelemente umgibt.

[0022] Um zu vermeiden, dass eine bereits am metallischen Substrat vorgesehene Qualitätsoberfläche in gleicher Weise von einer Metallschicht überzogen wird, wie im Falle der der Qualitätsoberfläche gegenüberliegenden, freiliegenden, metallischen Materialoberflächen mit den darauf befindlichen Piezoelementen, wird die Qualitätsoberfläche mit einer geeigneten Schutzschicht überzogen, die nachträglich wieder entfernt werden kann.

[0023] Ein zweiter alternativer Verfahrensweg sieht vor, das metallische Substrat, auf das die Piezoelemente aufgebracht werden, selbst im Wege der Metall-Abscheidung zu gewinnen. Um am Beispiel der galvanischen Abscheidung zu bleiben, wird in das galvanische Bad ein Modell eingebracht, das eine formgebende Werkzeugoberfläche aufweist, die über eine gewünschte Geometrie und insbesondere Oberflächenqualität verfügt. In gleicher Weise wie in der vorstehend geschilderten Verfahrensvariante wird ein aus elektrisch leitendem Material bestehendes Modell oder ein

aus einem elektrisch nicht leitendem Material bestehendes Modell, das mit einer elektrisch leitenden Schicht überzogen ist, auf Kathodenpotential gelegt, so dass sich die in der Elektrolytflüssigkeit gelösten metallischen Ionen auf der formgebenden Werkzeugoberfläche anlagern. Je nach Dauer der Abscheidung können unterschiedlich starke Metallschichtdicken ausgebildet werden. Ebenso ist es möglich, durch geeignete räumliche Verteilung des Anodenpotentials längs zur formgebenden Werkzeugoberfläche eine Metallschichtbildung mit unterschiedlichen Schichtstärken zu erhalten.

[0024] Nach Erreichen einer gewünschten Schichtdicke bzw. Schichtdickenverteilung einer sich auf der Werkzeugoberfläche ausbildenden Metallschicht, die als das metallische Substrat angesehen werden kann, wird auf der gebildeten freiliegenden, metallischen Materialoberfläche wenigstens ein Piezoelement, vorzugsweise eine Vielzahl faserartig ausgebildeter Piezoelemente aufgebracht und an der Materialoberfläche fixiert. Das Aufbringen der Piezoelemente erfolgt vorteilhafter Weise nach Entnahme des Modells mit der darauf befindlichen Metallschicht aus dem galvanischen Bad. Um zu vermeiden, dass die einzelnen Piezoelemente beim Wiedereintauchen des Modells in das galvanische Bad verrutschen, werden diese gegenüber der Metalloberfläche fixiert. Wie bereits erwähnt, sind zur Vermeidung elektrischer Kurzschlüsse die einzelnen Piezoelemente mit einer Schicht aus elektrisch isolierendem Material überzogen. Der weitere Beschichtungsvorgang erfolgt in gleicher Weise wie vorstehend beschrieben und führt zu einer vollständigen Einbettung der einzelnen Piezoelemente in der Metallmatrix der sich auf der freiliegenden metallischen Materialoberfläche ablagernden Metallschicht.

[0025] Aus der Verfahrensreihenfolge im letzteren Fall geht hervor, dass das metallische Substrat sowie die darauf abgeschiedene Metallschicht aus ein und dem gleichen Metall besteht. Selbstverständlich ist es möglich das im Rahmen des ersten Abscheidungsprozesses gewonnene metallische Substrat nach entsprechender Präparierung mit den Piezoelementen in ein galvanisches Bad mit einer anderen Elektrolytzusammensetzung einzubringen. Auf diese Weise können Sandwich-Strukturen mit unterschiedlichen Metallschichten gewonnen werden, in denen die Piezoelemente eingebunden sind. Eine Schichtkombination aus unterschiedlichen Metallarten kann aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften zu besonders vorteilhaften Deformationseigenschaften am fertigen Funktionselement führen.

[0026] Zur gezielten kontrollierten flächigen Deformation des erfindungsgemäß hergestellten Funktionselementes werden die das Funktionselement lateral überragenden Piezoelementabschnitte mit entsprechenden elektrischen Kontakten verbunden und mit geeigneten Versorgungsspannungen beaufschlagt. Auch ist es möglich, die Enden der jeweiligen Piezoelemente mit geeigneten Kontaktsteckern zu versehen, die gemeinsam mit den Piezofasern im Wege des Metallabscheidungsprozesses vollständig in die Materialschicht eingebettet werden. Auf diese Weise können Kontaktstecker bzw. Steckverbindungen in die Metallmatrix des Funktionselementes integriert werden, um somit ein kompaktes Funktionselement zu erhalten, bei dem die elektrischen Kontaktstellen das Funktionselement nicht überragen.

[0027] Funktionselemente die in der vorstehenden Weise hergestellt werden, werden bevorzugt überall dort eingesetzt werden, an denen Oberflächendeformationen eine wichtige Rolle spielen. Dies betrifft insbesondere optische Elemente, beispielsweise Spiegel, deren optische Abbildungseigenschaften durch entsprechende Ansteuerung der Piezoelemente beeinflusst werden können. Auch eignen sich die

Funktionselemente in vorteilhafter Weise als Halterungen für optisch aktive Elemente. In diesem Zusammenhang dienen die Funktionselemente der hochpräzisen Kopplung zwischen zwei optischen Fasern, die beispielsweise zur Informationsübertragung mittels Licht eingesetzt werden, wobei ein Versatz zwischen optischen Fasern einen erheblichen Verlust der Intensität des übertragenen Signals zur Folge hat. Sind die optischen Fasern entsprechend auf der Oberfläche eines Funktionselementes aufgebracht, so kann durch geeignete flächige Deformation der Oberfläche des Funktionselementes eine entsprechende Justierung beider sich gegenüber befindlicher Fasern erzielt werden.

[0028] Beliebig weitere Kombinationen des erfindungsgemäß ausgebildeten Funktionselementes mit optischen Elementen zur Positionierung und Justierung sind denkbar. Neben der Verwendung auf dem optischen Gebiet lassen sich die erfindungsgemäß ausgebildeten Funktionselemente auch als Steuerhilfen für Mikroventileinheiten einsetzen, bei denen das Funktionselement mit einem Ventilkörper verbunden ist, das bei Ansteuerung der entsprechenden Piezofasern den Ventilkörper derart verformt, dass ein Öffnen oder Schließen des Ventils erreicht wird.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0029] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

[0030] Fig. 1a, b flächenhaft ausgebildetes Funktionselement und

[0031] Fig. 2 flächig gekrümmt ausgebildetes Funktionselement.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0032] In Fig. 1a sowie b sind Ausführungsbeispiele für jeweils ein flächig ausgebildetes Funktionselement 1 dargestellt.

[0033] In Fig. 1a besteht das Funktionselement 1 aus einem metallischen Substrat 2 und einer darüber befindlichen, im Wege eines Metallabscheide-Prozesses hergestellten Metallschicht 3. Vorzugsweise bestehen das metallische Substrat 2 sowie die darüber befindliche Metallschicht 3 aus identischem Material, so dass sich keine makroskopisch erkennbare Fugeebene ausbildet (die dargestellte Begrenzungslinie dient nur der besseren Veranschaulichung). Zwischen dem metallischen Substrat 2 und der darüber befindlichen Metallschicht 3 sind Piezofasern 4 eingebracht, die als Aktuatoren das Funktionselement 1 in gegenseitiger paralleler Ausrichtung lateral durchsetzen und dieses beidseitig überragen. Die Piezofasern 4 werden zur elektrischen Kontaktierung an ihren Enden 41, 42 entsprechend einzeln oder gemeinsam elektrisch kontaktiert und mit elektrischer Spannung beaufschlagt, wodurch sie das plattenförmige Funktionselement 1 flächig gezielt zu deformieren vermögen.

[0034] Bei der in Fig. 1a dargestellten Anordnung der Piezofasern 4 innerhalb des Funktionselementes 1 vermögen die Piezofasern 4 das Funktionselement 1 lediglich um eine senkrecht zur Längserstreckung der Piezoelemente 4 orientierten Achse X zu krümmen.

[0035] Ist es jedoch erwünscht, das flächige Funktionselement 1 sowohl um die eingetragene X- als auch Y-Achse zu deformieren, so bedarf es einer Anordnung der einzelnen Piezofasern 4 in Form von Kreuzlagen, wie es aus der Fig. 1b hervorgeht. Auch in diesem Fall ist das dargestellte Funktionselement 1 in gleicher Weise wie das in Fig. 1a auf-

gebaut. Lediglich sind senkrecht zur Erstreckung der Fasern 4 zusätzliche Piezofasern 5 vorgesehen.

[0036] In Fig. 2 ist ein räumlich gekrümmtes Funktionselement 1 in der Querschnittsdarstellung gezeigt. Hierbei begrenzt das metallische Substrat 2 die Konkavseite des Funktionselementes 1 und weist überdies eine Qualitätsoberfläche 21 auf, die beispielsweise mit einer Spiegelschicht oder einem optischen Gitter überzogen ist. Das metallische Substrat 2 ist vorzugsweise im Wege eines galvanischen Abscheideprozesses hergestellt worden, unter Verwendung eines Modells, dessen Werkstückoberfläche eine Oberflächenqualität aufweist, die im Wege der galvanischen Abformung und Herstellung des metallischen Substrates 2 an die Oberfläche des metallischen Substrats abgeformt worden ist.

[0037] Auf der der Qualitätsoberfläche 21 gegenüberliegenden Seite des metallischen Substrates 2 sind eine Vielzahl flächig verteilter Piezofasern 4 angeordnet, von denen in der Querschnittsdarstellung gemäß Fig. 2 lediglich eine Piezofaser dargestellt ist, die im Wege des nachfolgenden galvanischen Abscheideprozesses von einer Metallschicht 3 vollständig überdeckt sind. Zur elektrischen Kontaktierung ragen die Enden 41, 42 der Piezofasern 4 beidseitig aus dem Funktionselement 1 heraus.

[0038] Das in Fig. 2 dargestellte optische Element, beispielsweise in Form eines Hohlspiegels, ist durch geeignete Ansteuerung der einzelnen Piezofasern 4 in gewissen Grenzen räumlich deformierbar, wodurch die Abbildungseigenschaften des Hohlspiegels variabel einstellbar sind.

[0039] Durch die unmittelbare Integration der Aktuatorelemente innerhalb des Funktionselementes ist gewährleistet, dass Längenänderungen längs der Aktuatoren unmittelbar und unverfälscht auf das gesamte Funktionselement übertragen werden können.

[0040] Die aus dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbaren Funktionselemente weisen überdies die nachstehenden vorteilhaften Eigenschaften auf:

- Die Aktoren sind Teil des Funktionselementes selbst, so dass keine Interface-Probleme zwischen dem Funktionselement und dem Aktuator bestehen.
- Das Funktionselement kann sowohl als Aktor, durch Anlegen einer entsprechenden elektrischen Spannung an die Piezofasern, als auch als Sensor arbeiten, beispielsweise durch Deformation des Funktionselementes und Messen der an den Enden der Piezofasern anliegenden Spannung.
- Durch Vorsehen einer Vielzahl einzelner Piezofasern innerhalb eines Funktionselementes können diese zum Teil als Aktuator, zum Teil als Sensor genutzt werden.
- Da die Aktuatoren, vorzugsweise Piezoelemente, vollständig im Funktionselement gekapselt sind, können sie keinen schädlichen Einflüssen von Außen direkt ausgesetzt werden. Dies ist bspw. in der Medizintechnik sowie beim Einsatz in lösemittelhaltigen Umgebungen der Fall.
- Der Einsatz der erfindungsgemäß hergestellten Funktionselemente ist insbesondere in der Raumfahrt vorteilhaft, da aufgrund der dort herrschenden hohen Strahlenbelastung Bauteile bspw. aus polymeren Werkstoffen aufgrund der dort auftretenden Degradationerscheinungen nicht eingesetzt werden können.
- Durch die Wahl der Anordnung der einzelnen Aktuatoren, vorzugsweise Piezoelemente innerhalb des Funktionselementes, können nahezu beliebige Manipulationen in Bezug auf Flächendeformationen hervorgerufen werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Funktionselement
- 2 Metallisches Substrat
- 21 Qualitätsoberfläche
- 3 Metallische Materialschicht
- 4 Aktor, Piezoelement
- 41, 42 Kontaktierstellen
- 5 Piezoelement

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines kontrolliert deformierbaren Funktionselementes mit wenigstens einem mit dem Funktionselement in Wirkverbindung stehenden und die kontrollierten Deformationen erzeugenden Aktuator mit elektrischen Kontaktanschlüssen, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf einer freiliegenden metallischen Materialoberfläche eines metallischen Substrats der wenigstens eine Aktuator aufgebracht wird, und dass im Rahmen eines Metall-Abscheideprozesses der wenigstens eine Aktuator abgesehen von den elektrischen Kontaktanschlüssen vollständig von metallischem Material umgeben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch den Metall-Abscheideprozess eine weitgehend von inneren mechanischen Spannungen freie metallische Materialschicht auf dem metallischen Substrat erzeugt wird, die zusammen mit dem metallischen Substrat den Aktuator einschließt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das metallische Substrat in einem ersten Schritt durch den Metall-Abscheideprozess gewonnen wird, durch den die freiliegende metallische Materialoberfläche gebildet wird, und dass in einem zweiten Schritt auf die freiliegende metallische Materialoberfläche der wenigstens eine Aktuator aufgebracht und fixiert wird und nachfolgend durch den anschließenden Metall-Abscheideprozess von einer weiteren Metallschicht überzogen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Aktuatoren auf der freiliegenden metallischen Materialoberfläche gleich verteilt zueinander aufgebracht werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Aktuator ein Piezoelement verwendet wird, das von einer elektrisch isolierenden Schicht umgeben ist, wenigstens an Stellen, an denen das Piezoelement mit dem metallischen Material des Funktionselementes in Berührung tritt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Aktuator die freiliegende metallische Materialoberfläche lateral wenigstens teilweise überragt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Metallabscheideverfahren ein galvanischer Abscheideprozeß eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Metallabscheideverfahren ein Vakuumbeschichtungsverfahren eingesetzt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Vakuumbeschichtungsverfahren ein PVD oder CVD-Verfahren ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass auf einer formgebenden Werkzeugoberfläche im Wege des Abscheideprozesses

durch Metallablagerung das metallische Substrat gebildet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl faser-, schicht- oder streifenförmiger Piezoelemente als Aktuatoren verwendet wird, die flächig verteilt auf die freiliegende metallische Materialoberfläche aufgebracht werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Piezoelemente auf der freiliegenden metallischen Materialoberfläche derart aufgebracht werden, dass sie die freiliegende metallische Materialoberfläche beidseitig für eine nachfolgende elektrische Kontaktierung überragen.

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Piezoelemente über elektrische Kontaktanschlüsse verfügen oder mit elektrischen Kontaktleitungen verbunden sind und in dieser Form auf die freiliegende metallische Materialoberfläche aufgebracht werden, und dass die Kontaktanschlüsse oder Kontaktleitungen teilweise im Rahmen des Metall-Abscheideprozesses von dem metallischen Material überdeckt werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Funktionselement flächig ausgebildet wird und eine Dicke zwischen 50 und 1000 µm aufweist, und dass in etwa mittig zur Dicke des Funktionselementes lateral zum Funktionselement der wenigstens eine Aktuator verläuft.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktuator als Piezoelementfaser mit einer Faserdicke von 20 bis 125 µm ausgebildet ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das metallische Substrat eine dem wenigstens einen Aktuator abgewandte Oberfläche aufweist, die herstellungsbedingt über eine Qualitätsoberfläche verfügt und/oder dass im Rahmen des Metall-Abscheideprozesses eine Qualitätsoberfläche an der sich ausbildenden metallischen Materialschicht gewonnen wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass zur Herstellung der Qualitätsoberfläche ein die Oberflächenrauheit reduzierendes Bearbeitungsverfahren verwendet wird.

18. Verwendung des Funktionselement nach einem der Ansprüche 1 bis 17 als optisches Element, das eine verspiegelte Oberfläche aufweist, die durch gezielte Ansteuerung des wenigstens einen Aktuators kontrolliert deformierbar ist.

19. Verwendung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass durch kontrollierte Deformation der verspiegelten Oberfläche die optischen Abbildungseigenschaften des optischen Elementes einstellbar sind.

20. Verwendung des Funktionselements nach einem der Ansprüche 1 bis 17 als Trägerelement für räumlich positionierbare Elemente, die mit dem Funktionselement in Wirkverbindung treten.

21. Verwendung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Elemente Spiegelemente oder optische Fasern sind.

22. Verwendung des Funktionselements nach einem der Ansprüche 1 bis 17 als Ventileinheit, bei der durch elektrisches Ansteuern des als Piezoelement ausgebildeten Aktuators die Ventileinheit derart verformt wird, dass ein Öffnen oder Schließen eines Ventils erreicht wird.

23. Kontrolliert deformierbares Funktionselement mit

wenigstens einem mit dem Funktionselement in Wirkverbindung stehenden und die kontrollierten Deformationen erzeugenden Aktuator mit elektrischen Kontaktanschlüssen,

dadurch gekennzeichnet, dass das Funktionselement aus metallischem Material gefertigt ist, und dass auf Grund eines Metall-Abscheideprozesses der wenigstens eine Aktuator, abgesehen von den elektrischen Kontaktanschlüssen, vollständig von dem metallischen Material derart umgeben ist, dass der Aktuator in einer Metallmatrix des metallischen Materials eingebunden ist.

24. Funktionselement nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass das Funktionselement flächig ausgebildet ist und an wenigstens, einer Oberfläche eine Qualitätsoberfläche aufweist.

25. Funktionselement nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von als Piezoelementen ausgebildete Aktuatoren innerhalb des Funktionselementes derart vorgesehen sind, dass die Piezoelemente flächig gleich verteilt zur Qualitätsoberfläche angeordnet sind.

26. Funktionselement nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die als Piezoelemente ausgebildeten Aktuatoren faserartig, streifen- oder schichtförmig ausgebildet und von einer elektrischen Isolationsschicht überzogen sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

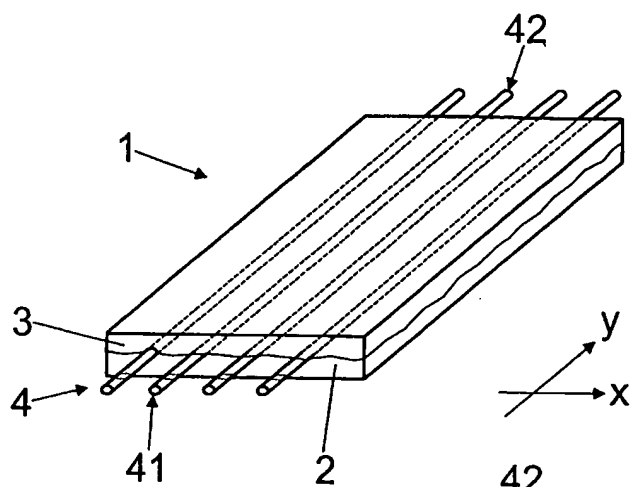


Fig. 1a

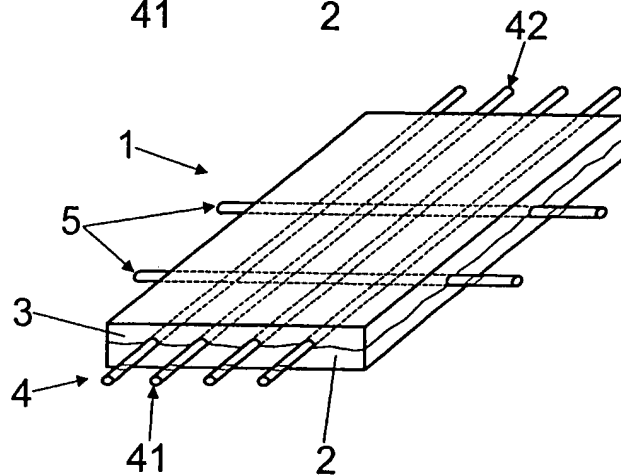


Fig. 1b

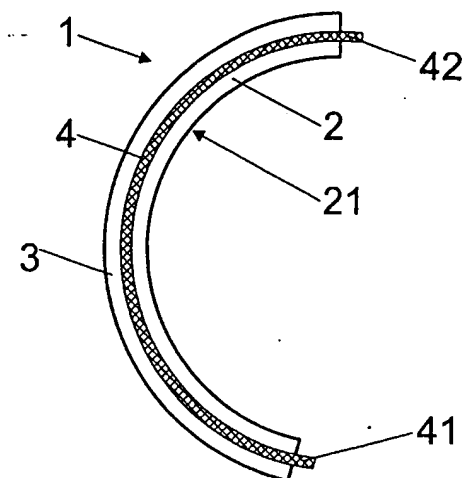


Fig. 2